

процесса, проведенные кафедрой ТИМ, рук. доц. Матюхин В.И.,] подтвердили возможность снижения вредных выбросов (СО, NO_x, пыль). Формирование поля звуковых колебаний, заданных параметров, в движущемся запыленном потоке печей, позволили установить устойчивую тенденцию снижения пылевыноса за пределы рабочего пространства на величину до 40 %. Это открывает возможности не только для улучшения тепловой работы печей, а также экологической обстановки в цехах, за счет существенного снижения пылевыноса, как из рабочего пространства печи, так и из пылеосадительных устройств.

Список использованных источников

1. Бигеев А.М. Metallургия стали: учебное пособие / А.М. Бигеев. – М.: Metallургия, 1977. – 440 с.
2. Каиров Э.А., Мaстрюков Б.С., Кривандин В.А. Влияние химического состава расплавленного мартеновского шлака на его радиационные характеристики / Э.А. Каиров, Б.С. Мaстрюков, В.А. Кривандин // Известия вузов. Черная metallургия. 1970. №7. С. 155-158.
3. Евсеев Г.П., Филиппов А.Ф. Влияние добавок на электропроводность фтористых и известково-глиноземистых шлаков / Г.П. Евсеев, А.Ф. Филиппов // В сб. «Физико-химические основы производства стали». – М., 1968. С. 76-82.
4. Журавлев А.А. Измерение теплофизических свойств шлаковых расплавов при высоких температурах / А.А. Журавлев // Тр. XIII Всероссийской конференции «Строение и свойства metallических и шлаковых расплавов». – Екатеринбург. 2011. Т. 3. С. 85-87, 88-91.

УДК 504.054

**С. Я. Журавлев, В. И. Матюхин, А. В. Матюхина, А. В. Хандошка,
А. Я. Журавлева**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

ПОДГОТОВКА И УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ МИНЕРАЛОВАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

Изучена структура твердых отходов минераловатного производства, дана характеристика их физических свойств. По результатам изучения особенностей работы дробилок различной конструкции выбрана в качестве агрегата для гомогенизации отходов шаровая мельница. Приведен материальный и тепловой балансы минераловатной вагранки с применением формованных отходов.

Ключевые слова: твердые отходы минераловатного производства, дробилки, вагранка, материальный и тепловой балансы.

Absract

The structure of solid waste of mineral-cotton production is studied, characteristic of their physical properties is given. By results of studying of features of operation of crushers of various design the spherical mill is chosen as the unit for homogenization of waste. It is given material and thermal balances of the mineral-cotton cupola with application of the formed waste.

Key words: solid waste of mineral-cotton production, crusher, cupola, material and thermal balances.

Существующая технология производства формованных теплоизоляционных материалов через стадии расплавления минеральных компонентов, распыления расплава с образованием волокнистых элементов, их механического формования с применением жидкого связующего и низкотемпературное упрочнение изделий предполагает образование до 10-12 тыс. тонн в год твердых отходов на каждую технологическую линию [1] производительностью около 6 т/ч готовой продукции.

Исследования возможных количественных соотношений твердых отходов при производстве минераловатных изделий на одном из отечественных заводов выполненные за период один месяц показали, что основную долю твердых отходов минераловатного производства (77,24 %) составляют волокнистые элементы, плотность которых изменяется в пределах 30-200 кг/м³. Отличительной особенностью таких отходов является присутствие в их составе до 4,5 % жидкого связующего, содержащего до 1,5 % органической связки на основе фенолов, что позволяет отнести их ко второму классу опасности.

В исходном состоянии эти материалы отличаются высокой пористостью (до 50-60 %), неопределенностью формы кусков и плохой сыпучестью. Данные по их гранулометрическому составу, полученные с помощью пневматического классификатора типа ПК-2А с ситами 4,75; 1,18; 0,425 и 0,075 мм, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав волокнистых отходов минераловатного производства

Номер пробы	Выход классов по ситам (мм), %				
	4,75	1,18	0,425	0,075	-0,075
1	59,5	3,5	8,6	25,4	3,0
2	64,9	2,4	5,7	22,4	4,6
3	44,5	6,1	14,6	31,4	3,4
Среднее	56,3	4,0	9,63	26,4	3,67

Согласно полученным данным, волокнистые отходы минераловатного производства представлены преимущественно в виде отдельных кусочков. Они пожаровзрывобезопасны, не токсичны.

На основании анализа механизма уплотнения волокнистых отходов минераловатного производства [2] было установлено, что они отличаются значительной упругостью и для организации процесса последующего

формования из них брикетов все структуры слоя обязательно должны быть подвергнуты помолу с получением слоя однородных по гранулометрическому составу дисперсных частиц. Для этого используют различного вида помольное оборудование.

Для выбора конструкции помольного оборудования при подготовке волокнистых отходов были выполнены лабораторные исследования особенностей их разрушения с применением различного помольного оборудования. При изучении параметров работы помольного оборудования оценивали возможную производительность мельниц на 1 м³ объема их рабочего пространства, гранулометрический состав исходных и конечных материалов, кратность измельчения, равную отношению среднего размера частиц материала до помола и после него. Основные результаты испытаний представлены в таблица 2.

Критическая оценка работы измельчителей минераловатных отходов различных конструкций показала, что условия их эксплуатации существенно отличаются. Максимальной производительностью обладает вертикально-молотковая мельница МНВ-360 (аналог валковой дробилки). Однако при ее использовании возникает ряд технологических затруднений (неравномерность размола, ограниченная скорость помола, невозможность достижения требуемых параметров помола и т.д.).

Молотковый измельчитель ИМ-600 хотя и способен обеспечить приемлемую производительность по исходному материалу, однако имеет ряд конструктивных (условия загрузки) и технологических ограничений (неудовлетворительный помол, сложность выгрузки продуктов).

Испытанная конструкция горизонтального распушителя ГР и вертикально-ножевая мельница ВМР не могут быть предложены для промышленного использования вследствие ограниченной их производительности и неудовлетворительного качества измельчения. Работа лабораторной вертикально-молотковой дробилки в процессе испытаний характеризовалась плохой транспортабельной способностью сырья в рабочем пространстве.

Большую эффективной в эксплуатации показала вибрационно – шаровая мельница МВ-20, имеющая среднюю производительность около 1,714 т/(ч·м³). Помол волокнистых отходов в ней отличается простотой обслуживания, высокой производительностью и возможностью изменения кратности измельчения увеличением продолжительности помола. Оценку особенностей процесса измельчения минераловатных отходов в виброшаровой мельнице производили по гранулометрическому составу исходных и конечных продуктов. После этого эффективность помола оценивали по кратности измельчения (табл. 2).

Измерения среднего диаметра молотого продукта показали, что увеличение длительности помола в вибрационно – шаровой мельнице МВ-20 более 4 минут не целесообразно. При этом кратность помола волокнистых отходов возрастает преимущественно в интервале до 6 минут. В дальнейшем условия изменения дисперсности материалов и кратности помола изменяются не существенно. Поэтому для обеспечения реальной степени помола исходных компонентов

общее время помола в лабораторных исследованиях установлено в пределах 6-8 минут.

Таблица 2

Показатели работы лабораторного измельчительного оборудования

Вид измельчителя	Наименов. продукта	Гранулометрический состав, % по ситам, мм					Производ., т/(ч·м³)	Средний диаметр, мм	Степень измель-ч., доли ед.
		4,75	1,18	0,425	0,075	-0,075			
Горизонтальный распушитель ГР	Исходный	9,6	8,0	38,0	35,0	9,4	1,414	0,742	0,879
Горизонтальный распушитель ГР	Молотый	15,3	2,7	10,2	39,4	32,4	1,414	0,844	
Вертикальная ножевая мельница ВМР	Исходный	9,6	8,0	38,0	35,0	9,4	0,043	0,742	4,114
Вертикальная ножевая мельница ВМР	Молотый	1,4	4,0	2,9	53,0	38,7	0,043	0,180	
Вибрационно- шаровая мельница МВ-20	Исходный	9,6	8,0	38,0	35,0	9,4	1,714	0,742	6,327
Вибрационно- шаровая мельница МВ-20	Молотый	1,5	0,6	0,3	2,7	94,9	1,714	0,117	
Литейные бегуны ЛМВД	Исходный	9,6	8,0	38,0	35,0	9,4	1,671	0,742	1,160
Линейные бегуны ЛМВД	Молотый	55,8	1,2	7,0	29,7	6,3	1,671	2,719	
Молотковая мельница ИМ- 600	Исходный	9,6	8,0	38,0	35,0	9,4	3,571	0,742	1,457
Молотковая мельница ИМ- 600	Молотый	6,3	8,1	15,8	55,3	14,5	3,571	0,509	
Вертикальная молотковая дробилка МНВ- 360	Исходный	9,6	8,0	38,0	35,0	9,4	14,28	0,742	2,880
Вертикальная молотковая дробилка МНВ- 360	Молотый	4,0	0,8	1,6	43,1	50,5	14,28	0,258	

Наиболее простым способом утилизации твердых отходов минераловатного производства является их складирование и размещение на специальных полигонах. Однако такое решение проблемы отличается нерациональным использованием материальных ресурсов, что удорожает получение конечной продукции и повышает экологическое воздействие на окружающую среду. По ориентировочным расчетам стоимость размещения твердых промышленных отходов на полигоне составляет около 660-950 руб/т.

При создании экологически чистого производства одним из основных способов утилизации таких отходов являются огневые процессы с рециркуляцией их в плавильный процесс в качестве добавок к исходной шихте через стадию брикетирования [3] или получение конечной продукции по отдельной технологии. В таблице 3 представлены сравнительные расчетные

данные материального баланса работы минераловатной вагранки в обычном режиме и с применением 20 % брикетов на цементном связующем.

Таблица 3

Материальный баланс минераловатной вагранки в обычном режиме
и с применением 20 % брикетов

Приход массы				
Статьи	Обычное сырье		20% брикетов	
	кг/100кг	%	кг/100кг	%
- Минеральное сырье	100	38,39	100	37,13
- Кокс	28,8	7,68	41,47	10,70
- Воздушное дутье	140,49	53,93	140,49	52,7
Расход массы				
- Расплав	102,0	39,16	76,5	27,13
- Ваграночные газы	171,048	65,66	205,46	72,87
Итого:	260,49	100	281,96	100

Эти данные показывают, что при использовании в ваграночной шихте до 20 % брикетов на цементной связке выход конечной продукции (расплава) снижается со 102 кг до 76,5 кг на 100 кг исходной шихты и сопровождается увеличением количества отходящих газов со 171,048 до 205,46 кг, т.е. на 20 %. При этом общий расход кокса на переплав возрастает с 28,8 до 41,7 кг, т.е. на 65,63 %.

Расчет теплового баланса вагранки (табл. 4) показали, что использование брикетов сопровождается снижением теплового КПД вагранки с 31,64 до 22,9 %, (на 27,62 отн. %) за счет меньшей эффективности переплава и повышения доли тепловых потерь. Этот переход характеризуется повышением общего расхода тепла на процесс с 576006 до 774012 кДж/100 кг (на 34,38 отн. %) за счет снижения производительности агрегата, увеличения расхода кокса, повышения потерь теплоты с отходящими газами с 10,39 % до 26,67 %.

Поэтому, для брикетирования отходов минераловатного производства необходимо использовать более эффективные технологии с применением современных технологических решений, позволяющих решать одновременно несколько задач совершенствования процессов ваграночной плавки (уменьшение материальных затрат на производство и снижение энергетических потерь) [4]. Одним из таких технических решений является использование в брикетируемой шихте топливных добавок, которые в процессе переплава в условиях ваграночной плавки могут выступать в качестве внутреннего источника тепла [5]. Это позволяет увеличить производительность плавильного агрегата и снизить топливные затраты на основной процесс получения расплава.

Сравнение усредненной себестоимости брикетов на цементном связующем (около 1900 руб/т) с затратами по размещению отходов минераловатного производства на специальных полигонах указывает на экономическую целесообразность их временного хранения. Однако при этом наносится существенный вред окружающей среде, а использование материальных ресурсов следует считать нерациональным.

Таблица 4

**Тепловой баланс минераловатной вагранки в обычном режиме
и с применением брикетов**

Приход теплоты				
Статьи	Обычное сырье		С 20% брикетов	
	кДж/100кг	%	кДж/100кг	%
Теплоты сгорания кокса	457307	79,39	658133	85,03
Физическая теплота воздуха	107418	18,65	107418	13,88
Теплота шлакообразования	11281	1,96	8461	1,06
Расход теплоты				
Физическая теплота нагрева и перегрева расплава	176477	31,64	176477	22,90
Физическая теплота отходящих газов	65599	10,39	206397	26,67
Потери теплоты с химическим недожогом	171624	29,79	228832	29,56
Потери теплоты с механическим недожогом	18292	3,18	18292	2,36
Потери теплоты в окружающую среду	144014	20,00	144014	18,61
Итого:	576006	100,00	774012	100,00

Выводы и рекомендации:

1. При работе минераловатных производств образуется до 10-12 тыс. тонн отходов, основную часть которых (до 77,24 %) составляют волокнистые элементы плотностью 30-200 кг/м³. Для организации процесса механического формования волокнистые элементы необходимо подвергать механическому разрушению.

2. Оценка работы различных измельчителей твердых минераловатных отходов позволила выделить как наиболее эффективный по кратности помола виброшаровую мельницу.

3. Получение брикетов с цементным связующим позволяет обеспечить их холодную прочность более 250 кг/брикет. Их использование в ваграночной шихте в количестве до 10-15 % сопровождается понижением производительности плавильного агрегата на 20-40 %, увеличением количества отходящих газов на 20 %, повышением общего расхода кокса на 65,63 %, снижением теплового КПД на 27,62 % и увеличением общего расхода тепла на 34,38 %.

4. Для повышения производительности плавильного агрегата, снижения энергетических затрат на получение минерального расплава с использованием брикетов из минераловатных отходов при их изготовлении предлагается использовать топливные добавки.

Список использованных источников

1. Жилин А. И. Шлаковая вата. Свойства, получение и применение / А. И. Жилин, Е. К. Гаврилов. – М.: Стройиздат, 1946. – 132 с.
2. Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики / С.П. Ничипоренко. – Киев, «Наукова думка», 1968. – 76 с.
3. Лотош В.А. Способ и технология утилизации твердых отходов производства минеральной ваты // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т.307. №6. С. 89-92.
4. Физико-химическая механика дисперсных минералов / Под общ. ред. Н.Н. Круглицкого. – Киев: «Наука думка», 1974. – 246 с.
5. Матюхин В.И. Выбор и обоснование технологии производства экзотермических брикетов их минераловатных отходов / В.И. Матюхин, А.В. Матюхина, С.Е. Пуненков // Труды конгресса с международным участием и элементами школы молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований». – Екатеринбург: УрО РАН, 2014. С. 96-101.

УДК: 621. 784

Л. А. Зайнуллин^{1,2}, А. Ю. Епишин¹, К. И. Слюзко²

¹ ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАСЧЕТ ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА ЗАГОТОВОК КРЕПЕЖА

Аннотация

Без термообработки в работе с металлами невозможно обойтись. Оттого, насколько правильно была проведена термическая обработка, зависят качественные характеристики металлического изделия: его прочность и долговечность в службе. В настоящей работе для вновь проектируемой нагревательной печи непрерывного действия для закалки и отпуска заготовок крепежа установлено распределение температур по толщине футеровки (боковые стенки, свод, под). При этом температура наружной стенки (кожуха) не превышает предельно допустимого значения – 70 °С. Печь производительностью 85,2 кг/ч представляет собой вертикальную шахту, образованную боковыми стенками, сводом и подом. Заготовки крепежа загружаются порционно в металлические корзины, которые посредством приводного вала совершают движение в рабочем пространстве. Находясь в нижней части рабочего пространства печи, корзина заполняется заготовками крепежа с использованием загрузочного устройства периодического действия. Связанные между собой цепью такие корзины поочередно загружаются изделиями, затем движутся вверх шахты рабочего пространства и, достигнув верхней точки, далее перемещаются вниз. В конце цикла в нижней